

Práctica: conservación de la masa y rendimiento de una precipitación

Práctica de laboratorio en dos partes: comprobar la conservación de la masa en una reacción que desprende un gas, en recipiente cerrado y abierto, y medir el rendimiento de la precipitación del carbonato de calcio con reactivo limitante.

DURACIÓN

2 sesiones de 55 min (más el secado del precipitado entre ambas)

AGRUPACIÓN

grupos de 3

UNIDAD 4

Reacciones químicas: leyes, estequiometría y química en la sociedad

MATERIALES

- Balanza de resolución 0,01 g
- Parte A: botella de plástico de refresco con gas de 500 mL con su tapón, vinagre de cocina (en torno al 5 % de ácido acético), hidrogenocarbonato de sodio (bicarbonato sódico de cocina), papel de filtro o pañuelo de papel, probeta de 25 mL
- Parte B: cloruro de calcio dihidrato ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3), agua destilada, 2 vasos de precipitados de 100 mL, 1 vaso de 250 mL, probeta de 50 mL, varilla de vidrio, espátula
- Embudo, papel de filtro, soporte con aro, frasco lavador con agua destilada y vidrio de reloj
- Estufa a unos 105 °C, si la hay; si no, lugar seco y protegido para secar al aire varios días
- Gafas de seguridad (una por persona) y guantes de nitrilo

ENCAJE CURRICULAR · Saberes B.5 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CPSAA

Criterios: 1.2, 2.3, 4.1, 4.2

Objetivo

Comprobar experimentalmente la ley de conservación de la masa en una reacción que desprende un gas, y explicar por qué parece no cumplirse cuando el recipiente está abierto. Medir el rendimiento de una reacción de precipitación en la que uno de los reactivos es limitante, y analizar críticamente el resultado.

Planteamiento

Antes de empezar, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. Si se hace reaccionar bicarbonato con vinagre dentro de una botella cerrada, ¿la masa de la botella aumentará, disminuirá o se mantendrá? ¿Y si después se abre?
2. Si se mezclan 1,50 g de cloruro de calcio dihidrato y 1,50 g de carbonato de sodio, ¿qué reactivo se acabará antes? ¿Qué masa de carbonato de calcio se formará como máximo?

Normas de seguridad específicas

- **Gafas de seguridad obligatorias durante toda la práctica.** El cloruro de calcio y el carbonato de sodio provocan irritación ocular grave (indicación de peligro **H319**, clasificación armonizada del

Reglamento (CE) n.º 1272/2008, anexo VI: números índice 017-013-00-2 y 011-005-00-2). Guantes de nitrilo al pesar y disolver los sólidos. Si cae una salpicadura en los ojos, lavado inmediato con agua abundante durante varios minutos y aviso al profesorado.

- El bicarbonato de sodio, el vinagre de cocina, el carbonato de calcio y el cloruro de sodio no tienen clasificación de peligro, pero en el laboratorio no se prueba ni se huele ninguna sustancia.
- **Parte A:** solo botellas de plástico de refresco con gas (están hechas para soportar presión), nunca de vidrio ni de agua sin gas. No se supera la cantidad de 0,50 g de bicarbonato. La botella se abre despacio, girando el tapón poco a poco, apuntando hacia la pared y lejos de la cara.
- **Parte B:** las disoluciones se mezclan sobre la mesa, no en la mano. El filtrado (disolución de cloruro de sodio con un poco de carbonato de sodio) puede verterse por el desagüe con agua abundante. Al terminar, lavado de manos.

Procedimiento

Parte A. Conservación de la masa (sesión 1, unos 20 min)

1. Medid con la probeta 20 mL de vinagre y echadlos en la botella. Pesad 0,50 g de bicarbonato y envolvedlo en un trozo pequeño de papel de filtro, formando un paquete cerrado.
2. Poned sobre la balanza la botella con el vinagre, su tapón y el paquete de bicarbonato al lado. Anotad la masa m_1 .
3. Introducid el paquete en la botella y cerrad el tapón de inmediato. El papel tarda unos segundos en empaparse, lo que da tiempo a cerrar.
4. Agitad suavemente hasta que deje de salir gas. Pesad la botella cerrada (m_2).
5. Abrid la botella despacio, siguiendo la norma de seguridad, y esperad un minuto. Volved a cerrarla y pesadla con su tapón (m_3).

Parte B. Rendimiento de una precipitación (sesiones 1 y 2)

6. Pesad 1,50 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y disolvedlo en unos 50 mL de agua destilada en un vaso de 100 mL. Pesad 1,50 g de Na_2CO_3 y disolvedlo en otros 50 mL en el segundo vaso. Anotad las masas exactas.
7. Verted las dos disoluciones en el vaso de 250 mL y removed con la varilla durante un minuto. Anotad lo que observáis.
8. Pesad un papel de filtro seco (m_{papel}), dobladlo y colocadlo en el embudo. Filtrad la mezcla, arrastrando el sólido que quede en el vaso con el frasco lavador.
9. Lavad el sólido del filtro con dos porciones de unos 10 mL de agua destilada, para eliminar el cloruro de sodio disuelto.
10. Colocad el papel con el sólido en el vidrio de reloj, marcado con el nombre del grupo, y dejadlo secar: en estufa a unos 105 °C, o al aire hasta la sesión siguiente.
11. En la sesión 2, pesad el papel con el sólido seco (m_{total}). Si hay tiempo, volved a secar 10 minutos y pesad de nuevo: el sólido está seco cuando dos pesadas seguidas coinciden.

Tabla de datos

PARTE A	MASA (G)
m1: botella + vinagre + tapón + bicarbonato, antes de reaccionar	
m2: botella cerrada, después de reaccionar	
m3: botella después de abrirla	
$m_2 - m_1$	
$m_3 - m_1$	

PARTE B	VALOR
Masa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (g)	
Masa de Na_2CO_3 (g)	
Observaciones al mezclar	
m_papel (g)	
m_total, primera pesada (g)	
m_total, segunda pesada (g)	
Masa de CaCO_3 obtenida (g)	
Masa teórica de CaCO_3 (g)	
Rendimiento (%)	

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Escribid y ajustad las ecuaciones de las dos reacciones. Datos (CIAAW): H = 1,0080; C = 12,011; O = 15,999; Na = 22,990; Cl = 35,45; Ca = 40,078.
2. Parte A: comparad m_2 con m_1 y m_3 con m_1 . ¿Se cumple la ley de conservación de la masa? Explicad, con el modelo de partículas, por qué la masa baja al abrir la botella. Calculad la masa máxima de CO_2 que pueden producir 0,50 g de bicarbonato y comparadla con $m_1 - m_3$: ¿por qué la pérdida medida es menor?
3. Parte B: calculad la cantidad de sustancia de cada reactivo, identificad el limitante y calculad la masa teórica de CaCO_3 y el rendimiento. ¿Por qué hay que usar la masa molar del dihidrato y no la del CaCl_2 anhidro?
4. Otro grupo ha obtenido un rendimiento del 112 %. ¿Es posible? Proponed al menos dos causas y cómo comprobaríais cada una.
5. ¿Por qué el procedimiento pone carbonato de sodio en exceso, en lugar de las cantidades exactas de la ecuación?
6. Comparad los resultados con vuestras predicciones iniciales. ¿Cuáles se cumplieron? Redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay laboratorio disponible, la idea de reactivo limitante y reactivo en exceso puede trabajarse con la simulación **Reactivos, productos y excedentes de PhET** (Universidad de Colorado, en español): se eligen cantidades iniciales de reactivos y se predice qué sobra antes de ver el resultado. La simulación no permite medir masas ni rendimientos, así que las cuestiones 2 a 4 se resuelven con los datos de ejemplo que facilite el profesorado.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Incumple las normas o no completa las medidas	Completa las medidas con recordatorios de seguridad	Mide con cuidado y cumple las normas sin recordatorios	Además, comprueba la masa constante del precipitado y anota observaciones útiles
Conservación de la masa (2.3)	Concluye que la masa no se conserva	Reconoce que se conserva en la botella		

		cerrada, sin explicar el caso abierto	Explica con el modelo de partículas los dos casos	Además, justifica por qué la pérdida medida es menor que la teórica
Cálculo estequiométrico (4.1)	No identifica el limitante o confunde masas con moles	Identifica el limitante con algún error de cálculo	Calcula limitante, masa teórica y rendimiento con unidades correctas	Además, usa correctamente la masa molar del hidrato y las cifras significativas
Análisis crítico del resultado (4.2)	Acepta cualquier resultado sin discutirlo	Señala una fuente de error genérica	Propone causas concretas del rendimiento obtenido	Propone causas y cómo comprobarlas, y revisa sus propias conclusiones

Solución orientativa

Para el profesorado: pasos de la resolución del ejercicio.

1. Parte A, ecuación: $\text{NaHCO}_3(\text{s}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$. Ajustada: Na 1 = 1; C 1 + 2 = 2 + 1; H 1 + 4 = 3 + 2; O 3 + 2 = 2 + 1 + 2.
2. Parte A, resultados esperados: con la botella cerrada, la masa antes y después de la reacción coincide dentro de la resolución de la balanza (diferencia de 0,00 o $\pm 0,01$ g). Al abrir la botella y dejar salir el gas, la masa disminuye unas décimas de gramo. Máximo teórico: $n(\text{NaHCO}_3) = 0,50 \text{ g} / 84,006 \text{ g/mol} = 5,95 \times 10^{-3} \text{ mol}$; el vinagre está en exceso (20 mL de vinagre al 5 % contienen alrededor de 1 g de ácido acético, unos 0,017 mol), así que se forman $5,95 \times 10^{-3} \text{ mol}$ de $\text{CO}_2 = 0,26 \text{ g}$. La pérdida medida es menor (por ejemplo, 0,15-0,20 g) porque parte del CO_2 queda disuelto en el líquido y, al abrir, solo sale gas hasta que la botella vuelve a la presión atmosférica: ese gas es una mezcla de CO_2 y aire, y parte del CO_2 sigue dentro, mezclado con el aire. Por eso la masa perdida es menor que la del CO_2 formado.
3. Parte A, presión: si todo el CO_2 quedara en los 0,45 L de gas de la botella a 20 °C, la presión aumentaría $\Delta p = nRT/V = 5,95 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 293,15 \text{ K} / 4,5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 3,2 \times 10^4 \text{ Pa}$, una tercera parte de la presión atmosférica. Una botella de refresco con gas soporta presiones bastante mayores; por eso se usa ese tipo de botella y se limita el bicarbonato a 0,50 g.
4. Parte B, ecuación: $\text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + 2 \text{ NaCl}(\text{aq})$. Masas molares (CIAAW: H 1,0080; C 12,011; O 15,999; Na 22,990; Cl 35,45; Ca 40,078): $M(\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 147,008 \text{ g/mol}$; $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,988 \text{ g/mol}$; $M(\text{CaCO}_3) = 100,086 \text{ g/mol}$.
5. Parte B, limitante: $n(\text{CaCl}_2) = 1,50 \text{ g} / 147,008 \text{ g/mol} = 1,020 \times 10^{-2} \text{ mol}$; $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,50 \text{ g} / 105,988 \text{ g/mol} = 1,415 \times 10^{-2} \text{ mol}$. La proporción es 1:1, así que el limitante es el cloruro de calcio aunque se haya pesado la misma masa de los dos. Masa teórica de $\text{CaCO}_3 = 1,020 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 100,086 \text{ g/mol} = 1,021 \text{ g}$. Sobran $0,395 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de Na_2CO_3 (0,42 g), que quedan disueltos. El agua de cristalización del dihidrato no interviene en la reacción, pero sí cuenta en la masa molar del sólido que se pesa: usar 110,978 g/mol (la del CaCl_2 anhidro) daría una masa teórica falsa de 1,353 g.
6. Parte B, ejemplo de resultados: papel de filtro seco 0,912 g; papel con el sólido seco 1,893 g; CaCO_3 obtenido 0,981 g; rendimiento = $0,981 \text{ g} / 1,021 \text{ g} \times 100 = 96,1 \%$. Un rendimiento algo inferior al 100 % es lo esperable: queda sólido en el vaso, en la varilla y en los poros del papel.
7. Cuestión 4 (rendimiento mayor del 100 %): un 112 % (1,14 g) no significa que se haya creado materia. Causas posibles: precipitado todavía húmedo (la más frecuente; se comprueba volviendo a secar y pesar hasta masa constante), cloruro de sodio no eliminado por un lavado insuficiente, o papel de filtro pesado húmedo y después seco. La conclusión correcta es revisar el procedimiento, no aceptar el dato.
8. Cuestión 5 (por qué se usa exceso de carbonato): para asegurar que todo el calcio precipita; el producto que interesa queda determinado por el reactivo que se ha pesado con exactitud. Si los dos se pusieran en la proporción exacta, cualquier error de pesada dejaría parte del calcio sin precipitar sin que se notara.
9. Cuestión 6 (hipótesis): se valora que el grupo compare las predicciones previas con los resultados sin modificarlas a posteriori. Error típico que debe aparecer corregido: «al abrir la botella la masa baja porque el gas no pesa» (baja porque el gas, que sí tiene masa, sale de la botella).